

Persönliche PDF-Datei für Gräfe D, Sorge I, Hirsch W.

Mit den besten Grüßen von Thieme

www.thieme.de

Echtzeit-MRT: Eine Revolution in der Kinderradiologie?

**Kinder- und
Jugendmedizin**

2024

266–272

10.1055/a-2344-1925

Dieser elektronische Sonderdruck ist nur für die Nutzung zu nicht-kommerziellen, persönlichen Zwecken bestimmt (z. B. im Rahmen des fachlichen Austauschs mit einzelnen Kolleginnen und Kollegen oder zur Verwendung auf der privaten Homepage der Autorin/des Autors). Diese PDF-Datei ist nicht für die Einstellung in Repositorien vorgesehen, dies gilt auch für soziale und wissenschaftliche Netzwerke und Plattformen.

Copyright & Ownership
© 2024. Thieme. All rights reserved.
Die Zeitschrift *Kinder- und Jugendmedizin* ist Eigentum von Thieme.
Georg Thieme Verlag KG,
Rüdigerstraße 14,
70469 Stuttgart, Germany
ISSN 1617-0288

Echtzeit-MRT: Eine Revolution in der Kinderradiologie?

Real-Time MRI: A revolution in pediatric radiology

Autorinnen/Autoren

Daniel Gräfe, Ina Sorge, Franz Wolfgang Hirsch

Institute

Universitätsklinikum Leipzig, Institut für Kinderradiologie

Schlüsselwörter

Echtzeit-MRT, Sedierung, Kleinkinder

Keywords

Real-time MRI, sedation, infants

Bibliografie

Kinder- und Jugendmedizin 2024; 24: 266–272

DOI 10.1055/a-2344-1925

ISSN 1617-0288

© 2024. Thieme. All rights reserved.

Georg Thieme Verlag KG, Rüdigerstraße 14,
70469 Stuttgart, Germany

Korrespondenzadresse

PD Dr. med. Daniel Gräfe

Universitätsklinikum Leipzig

Institut für Kinderradiologie

Liebigstraße 20a, 04103 Leipzig

Deutschland

E-Mail: daniel.graefe@medizin.uni-leipzig.de

ZUSAMMENFASSUNG

Die MRT ist für die meisten Fragestellungen in der Pädiatrie die Spitze der Bildgebung. Dass sie dennoch im Vergleich zu Ultraschall und Röntgen sehr selten angewandt wird, hat nicht nur mit der geringeren Verbreitung der großen MRT-Scanner zu tun: Ein wesentliches Hindernis ist, dass Kinder in der konventionellen MRT absolut stillliegen müssen – eine insbesondere bei kleinen, unkooperativen Säuglingen und Kleinkindern nicht erfüllbare Voraussetzung, weshalb MRT-Untersuchungen in diesem Alter regelhaft in medikamentöser Sedierung durchgeführt werden müssen.

Eine neue MRT-Technik, die sogenannte Echtzeit-MRT, kann dieses Hindernis überwinden. Mit bis zu 50 Bildern pro Sekunde beeinflussen Bewegungen des Kindes die diagnostische Qualität nicht länger. Die Technik wurde bereits erfolgreich bei

Kindern an Kopf, Herz und Lunge angewandt. Hierdurch ließ sich die Sedierungsrate bei kleinen Kindern relevant senken. Für weitere Einsatzgebiete gibt es vielversprechende erste Erfahrungen. Für eine erfolgreiche Etablierung der Echtzeit-MRT in den kinderradiologischen Workflow ist jedoch ein Umdenken bei Pädiatern sowie Radiologen erforderlich, da diese Form der ultraschnellen MRT nicht mehr jede denkbare Krankheitsursache klären will. Vielmehr fokussiert sie ihre Aussagekraft auf besonders schwere oder frequente Differenzialdiagnosen. Im richtigen Setting und mit fokussierten Fragestellungen revolutioniert die Echtzeit-MRT als bisher vermisstes Bindeglied zwischen breit verfügbarem Ultraschall und der konventionellen High-End-MRT die Kinderradiologie.

ABSTRACT

MRI is the cutting edge of imaging for most pediatric queries. The fact that it is still very rarely performed in comparison to ultrasound and X-rays is not only due to the limited availability of full-size MRI scanners: a major hurdle is that children have to lie absolutely still during conventional MRI – a requirement that cannot be met, especially for small, uncooperative infants and toddlers, which is why MRI examinations at this age usually have to be performed under pharmaceutical sedation.

A novel MRI technique, known as real-time MRI, can overcome this obstacle. With up to 50 images per second, the child's movements no longer affect the diagnostic quality. The technique has already been used successfully on paediatric head, heart and lung scans. As a result, the sedation rate in small children has been significantly reduced. There is promising initial experience in other fields of use. However, a successful establishment of real-time MRI in the pediatric radiology workflow requires a paradigm shift among pediatricians and radiologists, as this form of ultrafast MRI no longer aims to resolve every possible source of pathology. Instead, it focuses its diagnostic power on particularly severe or frequent differential diagnoses. In the right setting and addressing specific questions, real-time MRI is revolutionizing pediatric radiology as a missing link between widely available ultrasound and conventional high-end MRI.

Einleitung

Die MRT ist eine begeisternde Technik: Ohne jegliche ionisierende Strahlung und ohne Rücksicht auf geeignete Schallfenster lässt sich jede Körperregion des Menschen bis in den Sub-Millimeterbereich anatomisch darstellen. In der Pädiatrie ist sie daher für die meisten Schnittbild-Fragestellungen, die nicht mit dem ubiquitär verbreiteten Ultraschall zu beantworten sind, die Standard-Methode. Der größte Nachteil der MRT betrifft jedoch genau die Altersklasse, die von der MRT am meisten profitieren würde: kleinere Kinder. Deren inhärente motorische Unruhe und fehlende Compliance führt bisher oft zu ausgeprägten Bewegungsartefakten in der konventionellen MRT. Daher müssen solche Untersuchungen regelhaft nach Abschluss des Säuglingsalters bis etwa zur Einschulung unter einer medikamentösen Sedierung oder gar in Anästhesie durchgeführt werden. Die kurz- wie auch langfristigen Risiken einer Sedierung sowie auch der damit verbundene ökonomische Aufwand müssen daher gegen den zu erwartenden diagnostischen und therapeutischen Nutzen aufgewogen werden.

Eine noch sehr junge Entwicklung in der MRT-Technik verspricht, diesen großen Nachteil beim Einsatz der MRT bei kleinen Kindern zu umgehen: die FLASH2-Echtzeit-MRT [1, 2]. Das Grundprinzip der FLASH2-Echtzeit-MRT, im Folgenden lediglich Echtzeit-MRT genannt, ist im Kasten: „Wie funktioniert FLASH2-Echtzeit-MRT?“ dargestellt.

Durch die in diesem Artikel beschriebene Form der Echtzeit-MRT werden bis zu 50 Bilder pro Sekunde erzeugt. Da folglich jedes Bild innerhalb von bis zu 20 ms entsteht, spielen die Makrobewegungen des Kindes keine Rolle mehr. Somit können selbst äußerst unruhige, ängstliche Kinder ohne Sedierung in der MRT erfolgreich untersucht werden. Obwohl die Technik neu ist, gibt es schon mehrere Beschreibungen zur Anwendung von Echtzeit-MRT in der Kinder-radiologie [3–11].

Echtzeit-MRT-Basistechniken

Die Einsatzmöglichkeiten von Echtzeit-MRT bei Kindern sind mannigfaltig. Gemeinsam ist allen Echtzeit-Anwendungen, dass jedes Bild innerhalb von 20–50 ms akquiriert und somit in sich frei von Bewegungsartefakten ist, auch wenn sich der Patient zwischen den einzelnen Bildern bewegt. Dies gilt sowohl für willkürliche (Unruhe) oder unwillkürliche (etwa Husten, Niesen, Schluckauf) Bewegungen als auch insbesondere für physiologische Bewegungen (Herzschlag und Atmung). Im Prinzip lässt sich die Echtzeit-MRT in drei Basistechniken gliedern.

Bewegung innerhalb einer Schichtebene darstellen

Wiederholt man ein Bild sehr schnell in der immer gleichen Schichtebene, entsteht für das Auge ab etwa 12 Bildern pro Sekunde ein bewegter Film anstatt Einzelbilder [12]. Der naheliegendste Einsatzort für diese Basistechnik ist das Herz [10, 11]. Die Darstellung dieses Organs wird nicht nur durch dessen Eigenbewegung (Herzschlag), sondern auch durch physiologische Lageänderung (Atmung) erschwert. Zwar lässt sich gleichmäßige, periodische Bewegung im MRT durch sogenannte Triggertechniken ausgleichen, jedoch ist dies zum einen zeitaufwändig, zum anderen sehr anfällig

▶ VIDEO



▶ **Video 1** Zwei Tage altes Mädchen mit pränatalem Verdacht auf linksseitigen Lungensequester. In der Echtzeit-MRT (Farbüberlagerung zur besseren Visualisierung) lassen sich ohne Sedierung in freier Atmung der Sequester bestätigen sowie die zwei versorgenden Arterien aus der Aorta descendens thoracalis nachweisen.

▶ VIDEO



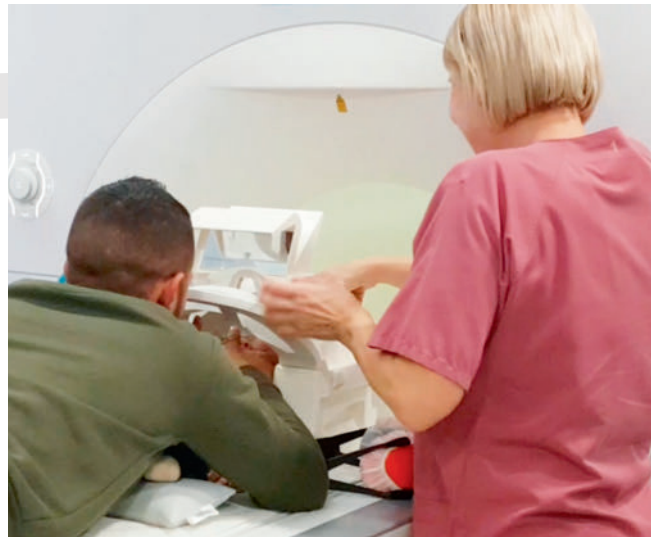
▶ **Video 2** Jahre alter Junge mit Schnappen am Ellenbogen bei Pronation und Supination. In der sagittalen und transversalen Echtzeit-MRT in Protonendichtewichtung kann als Ursache des Schnappens eine Subluxation des Radiusköpfchens nachgewiesen werden.

für zusätzliche Makrobewegungen oder andere Unregelmäßigkeiten, wie Arrhythmie oder unregelmäßige Atmung. Ein zusätzlicher Bonus ist die signalreiche Darstellung von fließendem Blut. Durch den sogenannten inflow-Effekt lassen sich auch Gefäßanomalien ohne Gabe von Kontrastmittel darstellen (▶ **Video 1**). Des Weiteren können mit dieser Basistechnik auch dynamische Untersuchungen wie die Gelenkbewegung (▶ **Video 2**), Sprachuntersuchungen oder der Schluckakt (▶ **Video 3**) durchgeführt und in einer bisher nicht gekannten Weise dargestellt werden.

▶ VIDEO



▶ **Video 3** Echtzeit-MRT des Schluckaktes eines 8-jährigen gesunden Jungen. Als Kontrastmittel wird Ananassaft verwendet, durch die hohe Mangankonzentration stark hyperintens in der Protodendichtewichtung. Die Geschwindigkeit beträgt etwa 30 Bilder pro Sekunde.



▶ **Abb. 1** Für die Echtzeit-MRT des Schädels legt sich ein Elternteil bäuchlings mit auf den Untersuchungstisch des MRT und hält locker den Kopf seines Kindes an den Schallschutzkopfhörern. Dies dient weniger der Fixierung des Kopfes als der Beruhigung des Kindes.

Ein Volumen in kurzer Zeit abbilden

Eine raffinierte Abwandlung der eben genannten Basismethode zur Darstellung von Bewegung ist, mit jedem neuen Bild einen winzigen Versatz in der Schichtebene durchzuführen. So lässt sich mit ultraschnellen 2-dimensionalen Einzelbildern ein größerer 3-dimensionaler Körperabschnitt in wenigen Sekunden scannen: die sogenannte Volume-Coverage-Technik. Wichtiger als die absolute Messzeit ist auch hier: Jedes einzelne Bild innerhalb dieses Volumens ist in sich frei von Bewegungsartefakten, ein wesentlicher Unterschied zu konventionellen schnellen 3-dimensionalen MRT-Sequenzen.

Diese Basistechnik ist für kleine Kinder am relevantesten. Meist legt sich ein Elternteil zu seinem Kleinkind in die Röhre (▶ **Abb. 1**), wobei der sanfte Griff an den Schallschutzkopfhörern eher der Beruhigung des Kindes als zu dessen Fixierung dient. So lässt sich das komplette Gehirn in etwa 13 Sekunden scannen. Das gescannte Gehirn setzt sich aus etwa 200 Einzelschichten zusammen. Kommt es während des Scans zu Makrobewegungen, resultiert daraus allenfalls nur ein kurzer Signalabfall, der jedoch den Rest des Bildstapels nicht beeinflusst (▶ **Video 4**). Diese Volume-Coverage-Technik eignet sich insbesondere für die Gehirnuntersuchung bei kleinen Kindern der Altersgruppe 0–6 Jahre: Wir konnten in einer Untersuchung zeigen, dass schon im ersten Jahr nach Einführung der Volume-Coverage-Echtzeittechnik die Anzahl der Sedierungsuntersuchungen für Kopf-MRT bei Kleinkindern um fast die Hälfte reduziert wurde [7]. Kollegen und ebenso die Eltern nehmen diese neue Art der Echtzeit-MRT gerade am kindlichen Kopf als eine extrem innovative und hilfreiche Option wahr. Es versteht sich von selbst, dass nicht alle Indikationen der zerebralen MRT-Diagnostik mit dieser Technik abschließend geklärt werden können. Aber bei indikationsgerechtem Einsatz (Frage nach erweiterten inneren und äußeren Liquorräumen, Ersteinschätzung bei kritisch kranken Kindern, Ausschluss von relevanten Blutungen und

▶ VIDEO



▶ **Video 4** Sagittale Echtzeit-MRT in T2/T1-Wichtung bei sechs verschiedenen Kindern und Säuglingen. Bei Bewegung des Kopfes kommt es nur kurz zu einem Signalverlust, ohne dass der Rest der Bildserie beeinflusst wird.

Tumoren) ist die Methode zumindest dem CT in Qualität und Aussagekraft ebenbürtig.

Neben dem Neurokranium ist die Lunge ein besonders geeignetes Organ für Volume-Coverage-Technik, da die bisherige MRT-Diagnostik hier oft Bewegungsartefakte aufweist. So lassen sich mit Echtzeit-MRT in freier Atmung solide pathologische Befunde ab 0,5 cm Durchmesser regelhaft abbilden. Auch hier wird das Kind zu dessen Beruhigung in der Regel von einer Bezugsperson in der MRT-Röhre begleitet. Die Messdauer von etwa 20 Sekunden lässt sich auch für eine Analyse der zeitlichen Dynamik nutzen, beispielsweise für die Beurteilung der Zwerchfellbewegung

▶ VIDEO



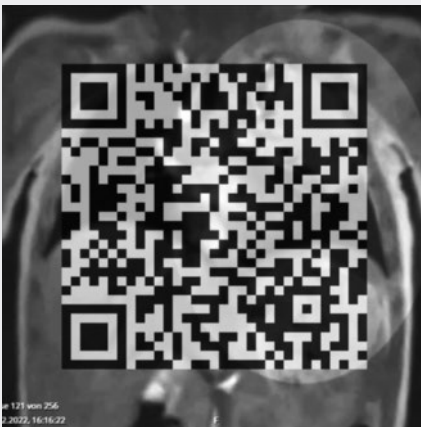
▶ **Video 5** Echtzeit-MRT vor (linkes Bild, Protonendichte-Wichtung) und nach (rechtes Bild, T2/T1-Wichtung) Resektion einer ausgeprägten Thymushyperplasie. Bereits visuell besteht der Verdacht auf eine paradoxe Zwerchfellbewegung links als Hinweis auf eine Parese des Nervus phrenicus im Rahmen der Operation. Ein Bewegungstracking (unten) bestätigt die neue paradoxe Bewegung beider Zwerchfelle.

▶ VIDEO

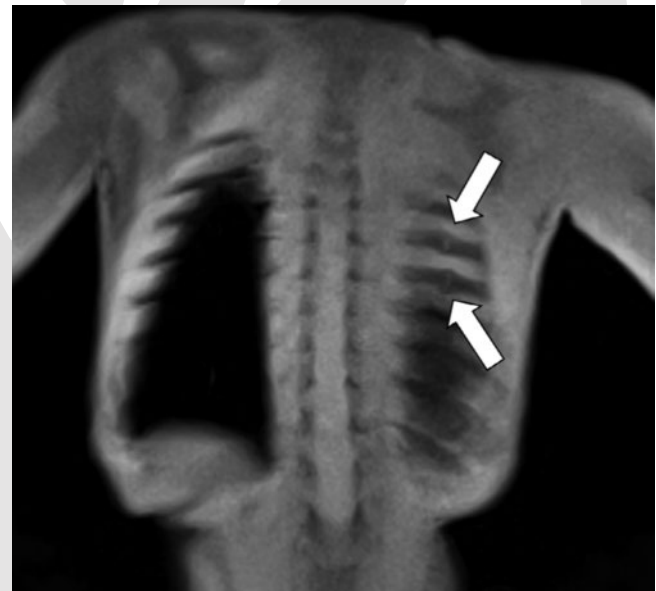


▶ **Video 6** Neugeborenes mit pränatalem Verdacht auf eine Zwerchfellhernie. In der Echtzeit-MRT unter freier Atmung in T2/T1-Wichtung (rechts) erkennt man die linksseitige Zwerchfellhernie, mit der Teile des Magens und mesenteriales Fettgewebe in den Thorax hernieren. Rechts zur Lageorientierung ein ruhendes, konventionelles T2-gewichtetes Bild.

▶ VIDEO



▶ **Video 7** 19 Monate alter Junge mit linksseitiger Verschattung im Röntgenbild, wobei nicht zwischen Pneumonie und Empyem differenziert werden konnte. In der koronaren Echtzeit-MRT in T2/T1-Wichtung zeigt sich der linke Oberlappen konsolidiert mit einer kleinen Einschmelzung (Pfeil). Ein begleitendes Empyem konnte ausgeschlossen werden.



▶ **Abb. 2** Standbild einer Echtzeit-MRT-Serie in Protonendichte-Wichtung bei einem 10 Monate alten Säugling mit Verdacht auf Rippenfraktur im uneindeutigen Röntgenbild. Die MRT zeigt den Frakturspalt an zwei benachbarten Rippen eindeutig (Pfeil).

(▶ **Video 5**) oder die unkomplizierte Klärung ambivalenter Röntgenbefunde (▶ **Video 6**, ▶ **Video 7**).

Auch Pathologien in Knochen wie Frakturen (▶ **Abb. 2**), Entzündungen oder Zysten lassen sich auf diese Weise in diagnostischer Qualität und artefaktfrei darstellen. Durch die hohe Geschwindigkeit der Einzelbilder ließe sich eine axiale Ganzkörper-MRT bei Kleinkindern innerhalb von ein- bis zwei Minuten anstelle von bisher etwa 30 Minuten durchführen.

Spezialanwendung: Freie Navigation

Die Möglichkeiten der schnellen Bilderzeugung gestatten es zudem auch, eine den Arzt interessierende Schicht unter MR-Sichtkontrolle frei im Körper zu bewegen, ganz vergleichbar, wie man das von Ultraschalluntersuchungen her kennt. Die diagnostischen Möglichkeiten, die sich hieraus ergeben, sind allerdings im Einzelnen noch gar in Gänze abzusehen, daher wird diese Mög-

VIDEO



► **Video 8** An der Benutzerkonsole kann durch den Bediener jede beliebige Ebene eingestellt werden. Das Echtzeit-MRT-Bild folgt der gewählten Ebene annähernd in Echtzeit. Lediglich bei raschem Ebenenwechsel ist kein sehr kurzer Signalabfall zu beobachten.

lichkeit hier nur kursorisch erwähnt und an einem Video gezeigt (► **Video 8**).

Spezialanwendung: Beschleunigte funktionelle Sequenzen

Bei diesen Spezial-Sequenzen handelt es sich zum einen um die hochexakte T1-Relaxationszeitkartierung von beliebigen Organen [4, 13] und zum anderen um die besonders artefaktarme Diffusionsmessung am Gehirn [6, 14]. Die Technik der Echtzeit-MRT beschleunigt dabei die Sequenzen ganz wesentlich und verkürzt somit die Gesamtuntersuchungszeit. Für den in diesem Artikel hauptsächlich adressierten Einsatzzweck, die schonende, sedierungs-freie MRT bei kleinen Kindern, spielen diese beiden Anwendungen jedoch keine Rolle. Daher wird auf dieses Spezialthema in diesem Artikel nicht weiter eingegangen.

Herausforderungen der Echtzeit-MRT

So verblüffend, geradezu sensationell die Echtzeit-MRT auch ist, so kann sie doch (noch) nicht in allen Bereichen der pädiatrischen Bildgebung eingesetzt werden. Dies liegt zum einen an der gegenwärtig maximal erreichbaren Auflösung (etwa $0,9 \times 0,9 \times 3$ mm). Diese Auflösung genügt nicht, um beispielsweise den Nervus cochlearis in Vorbereitung auf eine Cochlea-implantation ausreichend fein darzustellen. Auch können beispielsweise pulmonale Rundherde unter 0,5 cm und interstitielle Lungenerkrankungen nicht zuverlässig detektiert werden.

Eine weitere Einschränkung ist die Zahl an verfügbaren Kontrasten. Während die konventionelle MRT sich aus einem Portfolio aus dutzenden möglicher Kontraste bedient, sind mit der Echtzeit-MRT eine Handvoll Kontraste möglich: ein Protonendichte-Kontrast, ein T2/T1-Mischkontrast und eine schwache T1-Wichtung und dies

jeweils mit oder ohne Fettsättigung. Weder ist derzeit eine bewegungsstabile Diffusionswichtung noch eine „reine“ T2- oder T1-Wichtung mit Echtzeit möglich, was mitunter für eine sichere Gewebisdifferenzierung erforderlich sein kann.

Rolle der Echtzeit-MRT

Durch die genannten Limitationen kann die Echtzeit-MRT bei weitem nicht alle Verdachtsdiagnosen ausschließen. Insbesondere dezentere Pathologien können übersehen werden und somit nicht sicher ausgeschlossen werden. Ein Ausschluss jeder Differenzialdiagnose ist jedoch im klinischen Alltag oft nicht erforderlich. Die Notwendigkeit, eine potenzielle Pathologie auszuschließen, ergibt sich durch die Kombination aus der Vortestwahrscheinlichkeit für die Erkrankung, der Gefahr einer verpassten Diagnose und der therapeutischen Relevanz im Falle einer Detektion der Erkrankung. Beispielsweise genügt es bei einem Kind mit Nüchternbrechen häufig, rasch einen raumfordernden Gehirntumor auszuschließen. Hierfür ist keine high-end-Bildqualität für die kraniale MRT nötig, die man wiederum benötigen würde, wenn man auf der Suche nach einem epileptogenen Fokus ist.

Ein anderes Beispiel wäre ein Kind mit Stridor, bei dem eine Anomalie der Aortenbogenabgänge verdächtig wird. Es genügt hier eine externe Kompression, um beispielsweise ein großes Kommerelles Divertikel auszuschließen, ohne dass es auf millimetergenaue Gefäßverläufe ankommt.

In manchen Fällen dient die Echtzeit-MRT auch nur dazu, zeitkritische Diagnosen auszuschließen, um logistisch die wesentlich aufwändigere konventionelle MRT zum Ausschluss weniger zeitkritischer Diagnosen einplanen zu können.

Eine Revolution in der Kinderradiologie?

Zwar ersetzt die Echtzeit-MRT, wie eben gezeigt, weder die höchstauflösende state-of-the-art-MRT noch den wesentlich breiter verfügbaren Ultraschall. Jedoch stellt sie die oft ersehnte Verbindung dieser zwei Welten dar: Für Fragestellungen, die aufgrund physikalischer Hindernisse mit dem Ultraschall nicht erreichbar sind (zunehmender Fontanellenschluss, Luftüberlagerung, intraossäre Läsionen etc.), bietet sie sich aber als niedrigschwellige first-line-Untersuchung an – sei es als definitive Untersuchung oder als triagierende Untersuchung, um die Dringlichkeit einer ergänzenden MRT in Sedierung bestimmen zu können. Dies macht die Echtzeit-MRT zu einer der größten Innovationen in der Kinderradiologie der letzten Jahrzehnte.

FAZIT FÜR DIE PRAXIS

Die Echtzeit-MRT ist das Bindeglied zwischen dem Ultraschall als Erstlinien-Diagnostik und der MRT als high-end-Diagnostik. Sie ermöglicht sedierungsfreie Untersuchungen selbst bei kleinsten Kindern auch in sonografisch nicht zugänglichen Körperregionen. Bei geeigneten Fragestellungen und Anpassung des Arbeitsablaufs im bildgebenden Institut stellt die Echtzeit-MRT eine niedrigschwellige und leichter verfügbare Alternative zur konventionellen MRT dar.

WIE FUNKTIONIERT FLASH2-ECHTZEIT-MRT?

Die Physik der MRT-Geräte bezüglich der Protonen-Relaxation scheint aktuell schon weitgehend ausgereizt. Größere Geschwindigkeitssteigerungen können nicht mehr über Verbesserung der Hochfrequenzimpulse oder Gradientenspulen erreicht werden. Stattdessen schafft die FLASH2-(Echtzeit-MRT) mit einem Bruchteil der Messdaten zurechtzukommen als eigentlich für ein scharfes Bild benötigt werden. Die übrigen Daten werden geschätzt, wobei man die Tatsache ausnutzt, dass jedes MRT-Bild in einem Bildstapel Ähnlichkeiten mit dem zuvor akquirierten Bild aufweist. Der revolutionäre Qualitätssprung bei der Echtzeit-MRT kommt daher aus dem Gebiet der Mathematik und der Datenverarbeitung: Im Gegensatz zu anderen schnellen und ultraschnellen MRT-Techniken baut die FLASH2-Technik auf nicht-linearer inverser Rekonstruktion auf und schätzt somit alle für die Rekonstruktion benötigten Werte für jedes Bild stets neu. Hierdurch ist es möglich, hochqualitative Bilder aufzunehmen, auch wenn Patienten sich innerhalb der MRT-Röhre bewegen und sich damit auch die Lage der sogenannten Empfangsspulen verändert. Die komplexe Berechnung der nicht-linearen inversen Rekonstruktion wird auf einem separaten Hochleistungsrechner durchgeführt, sodass die Echtzeit-MRT-Bilder ohne merkbare Zeitverzögerung an der Bedienkonsole des MRT angezeigt werden. Die FLASH2-Technologie wurde von der Arbeitsgruppe um Professor Frahm am Max-Planck-Institut für Biomedizinische NMR in Göttingen entwickelt und ist derzeit nur für MRT-Scanner der Firma Siemens verfügbar.

ALARA UND AFARA

Der Anwendung ionisierender Strahlung (CT und konventionelles Röntgen) bei Kindern legt man seit langem das Prinzip „As Low As Reasonably Achievable“ (ALARA) zugrunde. Dieses fordert mit einer möglichst geringen Strahlung auszukommen, so niedrig, dass die Bilder gerade noch zur Diagnose ausreichen, selbst wenn sie im Vergleich zu hochdosigen Akquisitionen deutlich unansehnlicher sind. In Analogie dazu spricht man in der MRT seit kurzem von AFARA („As Fast as Reasonably Achievable“). Das bedeutet, dass dem ästhetischen Aspekt MRT-Bilder eine untergeordnete Bedeutung beigemessen wird. Wichtiger ist, dass man kindgerecht und schnell untersucht, nur so kurz, bis die diagnostische Fragestellung beantwortet werden kann. Diesem AFARA-Gedanken kommt die Diagnostik mittels Real-Time-MRT in idealer Weise entgegen.

Interessenkonflikt

Die Autoren geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Literatur

- [1] Uecker M, Zhang S, Voit D et al. Real-time MRI at a resolution of 20 ms. *NMR Biomed* 2010; 23: 986–994. DOI: 10.1002/nbm.1585
- [2] Zhang S, Joseph AA, Voit D et al. Real-time magnetic resonance imaging of cardiac function and flow-recent progress. *Quant Imaging Med Surg* 2014; 4: 313–329. DOI: 10.3978/j.issn.2223-4292.2014.06.03
- [3] Grafe D, Roth C, Weisser M et al. Outpacing movement – ultrafast volume coverage in neuropediatric magnetic resonance imaging. *Pediatr Radiol* 2020; 50: 1751–1756. DOI: 10.1007/s00247-020-04771-5
- [4] Grafe D, Frahm J, Merkschlager A et al. Quantitative T1 mapping of the normal brain from early infancy to adulthood. *Pediatr Radiol* 2021; 51: 450–456. DOI: 10.1007/s00247-020-04842-7
- [5] Hirsch FW, Frahm J, Sorge I et al. Real-time magnetic resonance imaging in pediatric radiology – new approach to movement and moving children. *Pediatr Radiol* 2021; 51: 840–846. DOI: 10.1007/s00247-020-04828-5
- [6] Grafe D, Pats A, Merkschlager A et al. STEAM-DWI as a robust alternative to EPI-DWI: Evaluation in pediatric brain MRI. *PLoS One* 2022; 17: e0268523. DOI: 10.1371/journal.pone.0268523
- [7] Sorge I, Hirsch FW, Voit D et al. Decreased Need for Anesthesia during Ultra-Fast Cranial MRI in Young Children: One-Year Summary. *Rofo* 2022; 194: 192–198. DOI: 10.1055/a-1561-2430
- [8] Grafe D, Lacher M, Martynov I et al. Pectus excavatum in motion: dynamic evaluation using real-time MRI. *Eur Radiol* 2022. DOI: 10.1007/s00330-022-09197-1
- [9] Hirsch FW, Frahm J, Sorge I et al. Real-time MRI: a new tool of radiologic imaging in small children. *Eur J Pediatr* 2023; 182: 3405–3417. DOI: 10.1007/s00431-023-04996-0
- [10] Rower LM, Radke KL, Hussmann J et al. Comparison of cardiac volumetry using real-time MRI during free-breathing with standard cine MRI during breath-hold in children. *Pediatr Radiol* 2022; 52: 1462–1475. DOI: 10.1007/s00247-022-05327-5
- [11] Rower LM, Uelwer T, Hussmann J et al. Spirometry-based reconstruction of real-time cardiac MRI: Motion control and quantification of heart-lung interactions. *Magn Reson Med* 2021; 86: 2692–2702. DOI: 10.1002/mrm.28892
- [12] Voit D, Kalentev O, van Zalk M et al. Rapid and motion-robust volume coverage using cross-sectional real-time MRI. *Magn Reson Med* 2020; 83: 1652–1658. DOI: 10.1002/mrm.28029
- [13] Wang X, Roeloffs V, Merboldt KD et al. Single-shot Multi-slice T1 Mapping at High Spatial Resolution – Inversion-Recovery FLASH with Radial Undersampling and Iterative Reconstruction. *The Open Medical Imaging Journal* 2015; 9: 1–8. DOI: 10.2174/1874347101509010001
- [14] Voit D, Kalentev O, Frahm J. Diffusion-weighted magnetic resonance imaging (MRI) without susceptibility artifacts: single-shot stimulated echo acquisition mode (STEAM) MRI with iterative reconstruction and spatial regularization. *Quant Imaging Med Surg* 2021; 11: 831–837. DOI: 10.21037/qims-20-871